

11-16-00

A

JC715 U.S. PTO  
11/15/00

# BAKER BOTTS LLP

30 ROCKEFELLER PLAZA  
44TH FLOOR  
NEW YORK, NEW YORK  
10112-4498  
212.705 5000  
FAX 212 705 5020

AUSTIN  
BAKU  
DALLAS  
HOUSTON  
LONDON  
MOSCOW  
NEW YORK  
WASHINGTON

Appln. Trans.  
PATENT

## UTILITY PATENT APPLICATION TRANSMITTAL

*(Only for new nonprovisional  
applications under 37 CFR 1.53(b))*

Attorney Docket No. A33752 (071308.0102)

First Named Inventor Wolfgang Papiemlk

Express Mail Label No. EK938097140US

Total Pages 3

JC862 U.S. PTO  
09/713824  
11/15/00

November 15, 2000

**BY EXPRESS MAIL - Label No. EK938097140US**

Assistant Commissioner for Patents  
Box Patent Application  
Washington, DC 20231

Sir:

Enclosed herewith for filing is a patent application of Papiemlk et al., entitled Process of Simulation, filed pursuant to 37 C.F.R. §1.52(d), which includes:

- ☒ Specification 10 Total Pages
- ☒ Claims 3 Total Pages
- ☒ Abstract 1 Total Pages
- ☒ Drawing(s) 2 Total Sheets
  - ☐ formal
  - ☒ informal

- ☒ Combined Declaration and Power of Attorney WILL FOLLOW
    - ☐ Newly executed (original or copy)
    - ☐ Copy from a prior application
- (for continuation/divisional only - **must be filed to avoid surcharge for late filing**)

If a continuing application, check appropriate box:

- ☐ Continuation ☐ Divisional ☐ Continuation-In-Part (CIP)
- of prior application No.

☐ Amend the specification by inserting, before the first line, the following sentence:

"This is a ☐ continuation ☐ divisional ☐ continuation-in-part  
of copending application Serial No.        filed       ."

Attorney Docket No. A33752 (071038.0102)

- ☒ An Assignment of the invention to Siemens Aktiengesellschaft.  
☐ is attached. A separate cover sheet in compliance with 37 CFR 3.28 and 3.31 is included.  
☒ will follow.  
☐ has been filed in the prior application

- ☐ Small Entity Statement(s)  
☐ Small Entity Statement filed in prior application. Status still proper and desired.

- ☐ Information Disclosure Statement (IDS) PTO-1449  
☐ Copies of IDS Citations.

☒ A certified English language translation **WILL FOLLOW**.

☒ Return Receipt Postcard

- ☐ Cancel in this application original claims \_ of the prior application before calculating the filing fee.

The filing fee has been calculated as shown below:

FOR	(Col. 1) No. Filed	(Col. 2) No. Extra	Small Entity Rate	Fee	OR	Other Than A Small Entity Rate	Fee
Basic Fee							\$710
Total Claims	13	-20 = 0	x \$9 =	\$0		x \$18 =	\$0
Ind. Claims	4	-3 = 1	x \$40 =	\$0		x \$80 =	\$80
Multiple Dependent Claim			+ \$135 =	\$0		+\$270 =	\$270
			Total	-			<u>*\$130.00</u>
Fee pursuant to 37 C.F.R. §1.17(k)*							<u>\$1,190.00</u>

\* If the difference in Col. 1 is less than zero, enter "0" in Col. 2.

Fee Payment Being Made:

☒ Enclosed

☒ Basic filing fee \$ 1,060.00

☐ Recording Assignment  
[\$40.00; 37 CFR 1.21(h)]

Total Fees Enclosed \*\$130.00  
\$1,190.00

☒ Checks in the amounts of \$1,060.00 and \$130.00 to cover filing fee and fee pursuant to 37 C.F.R. §1.17(k) are enclosed.

Appln. Trans.  
PATENT

Attorney Docket No. A33752 (071038.0102)

Priority

[X] Priority of application Country Germany, Appln. No. 1955587.7 filed November 18, 1999 and Appln No. 10047928.6 filed September 27, 2000 are claimed under 35 U.S.C. 119.

[X] Certified Copy of Priority Document(s) Country Germany, Appln No. 1955587.7, filed November 18, 1999 and Appln No. 10047928 filed September 27, 2000.

☐ is/are attached ☒ will follow ☐ has been filed in the parent application S/N   .

[X] The Commissioner is hereby authorized to charge payment of any additional filing fees required under 37 CFR 1.16, 1.17, and 1.21(h) associated with this communication or credit any overpayment to Deposit Account No. 02-4377. Two copies of this sheet are enclosed.

BAKER BOTTS LLP.

By 

Bradley B. Geist

PTO Registration No. 27,551

Enclosures

FIG 1

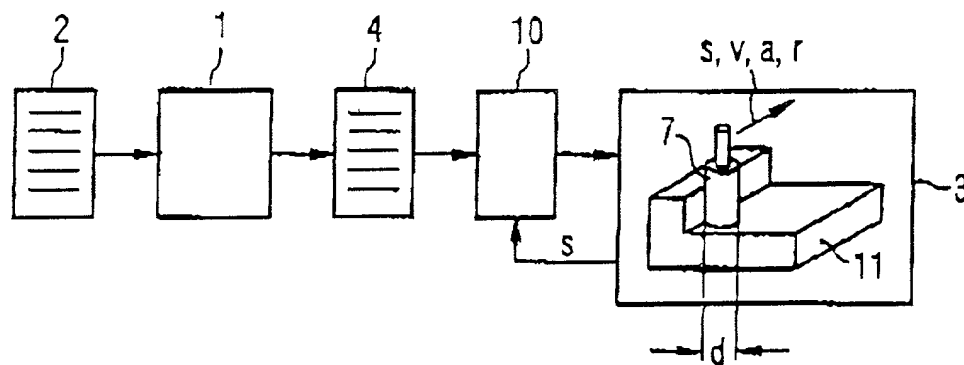
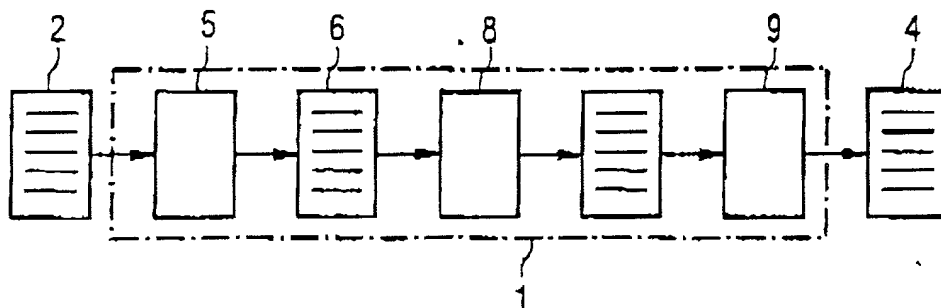
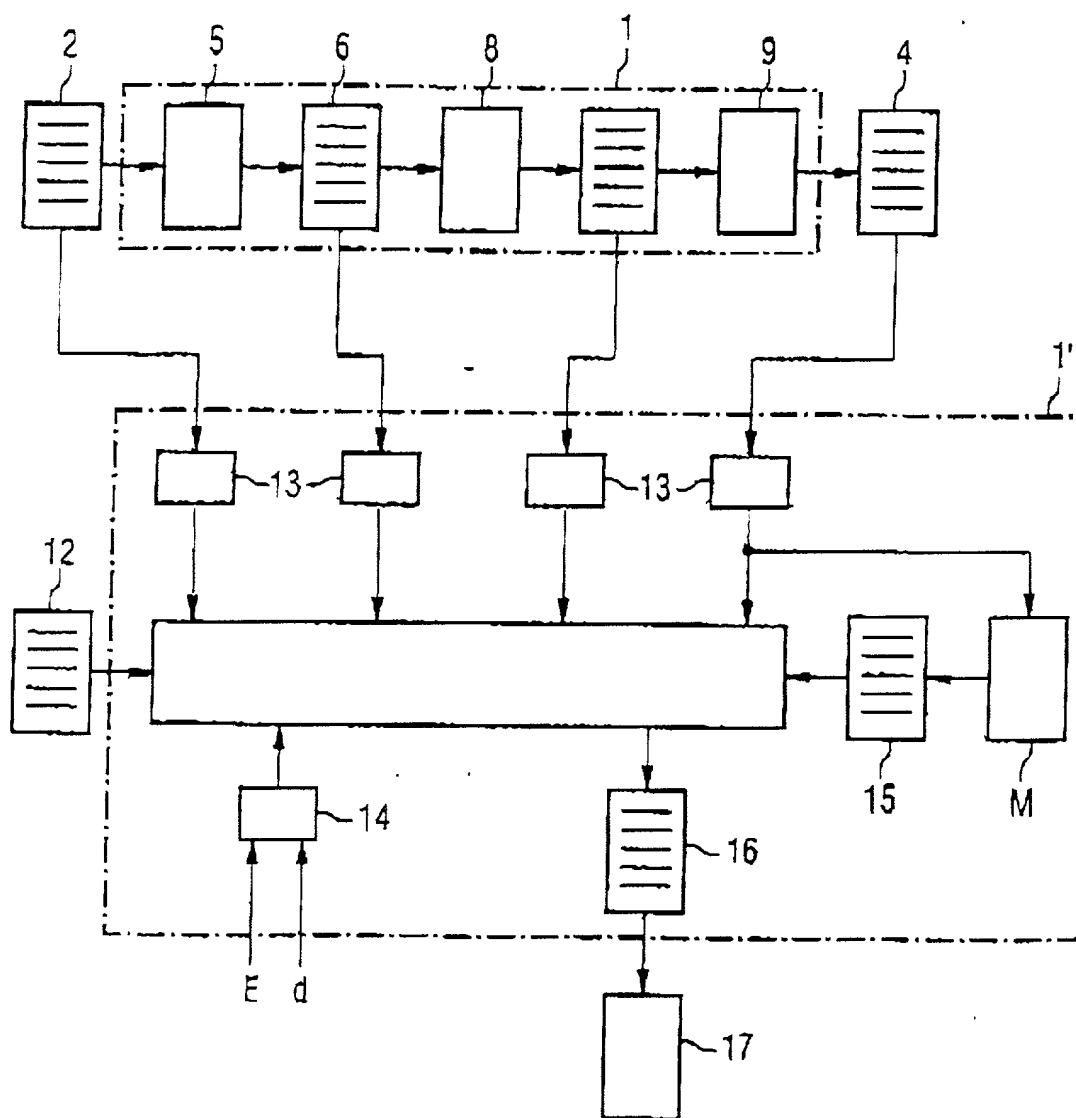


FIG 2



2/2

FIG 3



Beschreibung

Simulationsverfahren

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Simulationsverfahren für eine dreidimensionale Bearbeitung durch eine CNC-gesteuerte Bearbeitungsmaschine, insbesondere eine Fräsmaschine, beschreibenden Datensatz.
- 10 Bei CNC-gesteuerten Bearbeitungsmaschinen wird ein Werkstück entweder von einem Programmierer direkt codiert oder das Werkstück wird mittels eines CAD-Systems modelliert und dann in ein äquivalentes CNC-Teilprogramm umgewandelt. Das CNC-Teilprogramm bzw. das CAD-Modell entsprechen dabei idealisierten Bearbeitungsanweisungen für die Bearbeitungsmaschine.
- 15 Das CNC-Programm wird in eine CNC-Steuerung geladen und die Bearbeitungsmaschine entsprechend dem CNC-Programm gesteuert.
- 20 Wenn das so gefertigte Werkstück innerhalb der gewünschten Fertigungstoleranzen eines idealen Werkstücks liegt, stellen sich bei dieser Vorgehensweise keine Probleme. Entspricht das gefertigte Werkstück hingegen nicht den an es gestellten Anforderungen, stellt sich die Frage, aufgrund welcher Variationen ein ordnungsgemäßes Werkstück fertigbar ist.
- 25 Es ist zwar möglich, nacheinander einzelne Bearbeitungsanweisungen und/oder einzelne Betriebsparameter der Bearbeitungsmaschine zu ändern, ein neues Werkstück zu fertigen und dann dieses erneut gefertigte Werkstück zu überprüfen. Diese Vorgehensweise ist aber sehr mühsam und darüber hinaus kosten-, material- und zeitintensiv. Dies gilt ganz besonders auch
- 30 deshalb, weil oftmals nicht bekannt ist, wo die Ursache für die Abweichungen des tatsächlich gefertigten Werkstücks vom gewünschten Werkstück zu suchen sind.
- 35 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Möglichkeit zu schaffen, auf erheblich schnellere, einfachere

09713824-1300

und kostengünstigere Weise als im Stand der Technik idealisierte Bearbeitungsanweisungen zu erstellen, mittels derer in der Realität ein ordnungsgemäßes, also innerhalb der zulässigen Toleranzbreite einem idealen Werkstück entsprechendes, reales Werkstück herstellbar ist.

Die Aufgabe wird durch ein Simulationsverfahren für einen eine dreidimensionale Bearbeitung durch eine CNC-gesteuerte Bearbeitungsmaschine, insbesondere eine Fräsmaschine, beschreibenden Datensatz gelöst,

- wobei eine Sollbearbeitung durch einen idealisierte Bearbeitungsanweisungen für die Bearbeitungsmaschine beschreibenden Ausgangsdatsatz bestimmt ist,
- wobei aus dem Ausgangsdatsatz von einer Recheneinheit ein Steuerdatsatz für eine die Bearbeitungsmaschine regelnde Regeleinheit ermittelbar ist,
- wobei aus dem Ausgangsdatsatz und/oder dem Steuerdatsatz mindestens eine zweidimensionale Projektion der Bearbeitung ermittelbar und über eine Anzeigeeinrichtung darstellbar ist.

Denn dadurch ist es möglich ein „virtuelles Werkstück“ zu fertigen bzw. die Bearbeitung virtuell durchzuführen. Es ist also nicht erforderlich, tatsächlich ein Werkstück zu fertigen. Prinzipiell muss die Bearbeitungsmaschine als solche nicht einmal vorhanden sein.

Wenn von der Recheneinheit aus dem Ausgangsdatsatz mindestens ein Zwischendatsatz und aus dem Zwischendatsatz der Steuerdatsatz ermittelbar ist, ist vorzugsweise auch aus dem Zwischendatsatz mindestens eine zweidimensionale Projektion der Bearbeitung ermittelbar und über die Anzeigeeinrichtung darstellbar ist. Denn dann ist das Simulationsverfahren noch flexibler einsetzbar.

Gleiches gilt auch für den Fall, dass anhand eines ein reales Verhalten der Bearbeitungsmaschine beschreibenden Modells aus

dem Steuerdatensatz rechnerisch ein die tatsächliche Bearbeitung beschreibender Enddatensatz ermittelbar ist und auch aus dem Enddatensatz mindestens eine zweidimensionale Projektion der tatsächlichen Bearbeitung ermittelbar und über die Anzeigeeinrichtung darstellbar ist.

Der Ausgangsdatsatz ist in der Regel ein Teileprogramm. Wahlweise können entweder dem Teileprogramm selbst Verfahrensgeschwindigkeiten, Verfahrenbeschleunigungen und Bahnkrümmungen zugeordnet werden oder das Teileprogramm ist in eine Polynomfolge umsetzbar und der Polynomfolge werden dann die Verfahrensgeschwindigkeiten, Verfahrenbeschleunigungen und Bahnkrümmungen zugeordnet. Anhand des Teileprogramms bzw. der Polynomfolge und den zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten, Verfahrenbeschleunigungen und Bahnkrümmungen werden dann - ggf. zweistufig - miteinander zu koordinierende Bewegungen einzelner Verfahrensmöglichkeiten des Bearbeitungswerkzeugs ermittelt. Die miteinander zu koordinierenden Bewegungen bilden den Steuerdatensatz. Der Zwischendatsatz entspricht in diesen Fällen vorzugsweise dem Teileprogramm mit den ihm zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten, Verfahrenbeschleunigungen und Bahnkrümmungen bzw. der Polynomfolge mit den oder ohne die der Polynomfolge zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten, Verfahrenbeschleunigungen und Bahnkrümmungen.

Die Beschreibung des realen Verhaltens der Bearbeitungsmaschine ist effizient möglich, wenn sie durch Maschinenparameter erfolgt. Aus Flexibilitätsgründen sind die Maschinenparameter dabei vorzugsweise zumindest teilweise interaktiv änderbar. Sie umfassen in der Regel mindestens eine Abmessung eines Bearbeitungswerkzeugs der Bearbeitungsmaschine.

Das Simulationsverfahren arbeitet besonders flexibel, wenn - vorzugsweise interaktiv - selektierbar ist, welcher der Datensätze zur Ermittlung der mindestens einen zweidimensionalen Projektion und deren Darstellung über die Anzeigeeinrichtung herangezogen wird.

00433344 11300



Zur Ermittlung der mindestens einen zweidimensionalen Projektion wird vorzugsweise anhand des selektierten Datensatzes eine Vielzahl von Stützstellen ermittelt, die in ihrer Gesamtheit das virtuelle dreidimensionale Werkstück beschreiben.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels. Dabei zeigen in Prinzipdarstellung

- FIG 1 eine Bearbeitungsmaschine mit einem Rechner und einer Regeleinheit,  
FIG 2 den Rechner von FIG 1 in Detail und  
FIG 3 eine Steuereinrichtung und einen Simulations- und/oder Emulations-Rechner.

Gemäß FIG 1 wird in einen Rechner 1, z.B. einen PC 1, ein Ausgangsdatsatz 2 eingegeben. Der Ausgangsdatsatz 2 beschreibt idealisierte Bearbeitungsanweisungen für eine CNC-gesteuerte Bearbeitungsmaschine 3. Er ist üblicherweise ein sogenanntes Teileprogramm 2. Die Bearbeitungsmaschine 3 ist im vorliegenden Fall als Fräsmaschine 3 ausgebildet. Sie könnte aber auch eine andere Werkzeugmaschine, z.B. eine Bohr- oder Drehmaschine sein. Auch könnte die Bearbeitungsmaschine 3 als Industrieroboter oder als Sondermaschine ausgebildet sein.

Der Ausgangsdatsatz 2 beschreibt eine Sollbearbeitung eines Werkstücks 11 durch die Bearbeitungsmaschine 3. Aus ihm ermittelt der Rechner 1 gemäß FIG 2 anhand seines Programms einen Steuerdatsatz 4 für die Bearbeitungsmaschine 3. Der Steuerdatsatz 4 stellt somit ebenfalls eine Sollbearbeitung des Werkstücks 11 dar, und der Rechner 1 bildet eine CNC-Steuerung für die Bearbeitungsmaschine 3.

Zur Ermittlung des Steuerdatsatzes 4 setzt der Rechner 1 vorzugsweise in einem Funktionsblock 5, dem sogenannten Kom-

199903788 DE 01

5

pressor 5, zunächst das Teileprogramm 2 in eine Polynomfolge 6 um. Die Polynomfolge 6 ergibt eine abzufahrende Bahn eines Bearbeitungswerkzeugs 7, hier eines Fräskopfs 7. Sodann werden der Polynomfolge 6 vom Anwender Sollverfahrensgeschwindigkeiten zugeordnet. Der Rechner 1 errechnet dann erwartete Verfahrensgeschwindigkeiten  $v$ , erwartete Verfahrenbeschleunigungen  $a$  und Verfahrensrucke  $r$  des Bearbeitungswerkzeugs 7 sowie erwartete Bahnkrümmungen. Falls diese Werte  $v$ ,  $a$ ,  $r$  zulässige Grenzwerte überschreiten, korrigiert der Rechner 1 die Bewegungsführung des Bearbeitungswerkzeugs 7 entsprechend, so dass die zulässigen Grenzwerte eingehalten werden.

Das Umsetzen des Teileprogramms 2 in die Polynomfolge 6 kann auch entfallen. In diesem Fall werden die Sollverfahrensgeschwindigkeiten, die erwarteten Verfahrensgeschwindigkeiten  $v$ , die erwarteten Verfahrenbeschleunigungen  $a$  und die Verfahrensrucke  $r$  sowie die erwarteten Bahnkrümmungen dem Teileprogramm 2 zugeordnet. Auch ist es möglich, die Polynomfolge 6 direkt mittels eines CAD-Systems zu erzeugen.

Als nächstes werden anhand der Polynomfolge 6 und den dieser zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten  $v$ , Verfahrenbeschleunigungen  $a$ , Verfahrensrucken  $r$  sowie Bahnkrümmungen in einem weiteren Funktionsblock 8 des Rechners 1, dem sogenannten Interpolator 8, miteinander zu koordinierende Bewegungen einzelner - in der Regel axialer - Verfahrensmöglichkeiten des Bearbeitungswerkzeugs 7 ermittelt. Diese Koordinierung erfolgt, da dem Interpolator 8 als weiterer Funktionsblock 9 in der Regel ein sogenannter Feininterpolator 9 nachgeordnet ist, zweistufig. Das Ausgangssignal des Feininterpolators 9 bildet dann den Steuerdatensatz 4. Es erfolgt also eine Aufteilung der Bahn auf einzelne Achsen bzw. allgemeiner Bewegungsfreiheitsgrade des Bearbeitungswerkzeugs 7. Auch die so gebildeten Zwischendatensätze stellen eine Sollbearbeitung des Werkstücks 11 durch die Bearbeitungsmaschine 3 dar.

0074334-44500

Der vom Rechner 1 ermittelte Steuerdatensatz 4 wird an eine Regeleinheit 10 übermittelt. Diese regelt die Bearbeitungsmaschine 3 entsprechend dem Steuerdatensatz 4. Die Bearbeitungsmaschine 3 fertigt daher, geregelt von der Regeleinheit 10, entsprechend den im Steuerdatensatz 4 realisierten Steueranweisungen das Werkstück 11. Dabei werden unter anderem von dem Bearbeitungswerkzeug 7 angenommene Verfahrenswege erfasst und an die Regeleinheit 10 übermittelt. Die Regeleinheit 10 kann somit ein nichtideales Verhalten der Bearbeitungsmaschine 3, insbesondere ein Elastizitätsverhalten E der Bearbeitungsmaschine 3, erfassen und durch Ausregeln kompensieren.

In der Praxis ergeben sich Abweichungen zwischen dem tatsächlich gefertigten Werkstück 11 und einem durch den Ausgangsdatensatz 2 beschriebenen idealen Werkstück. Das Ausmass der Abweichungen ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, insbesondere von der Umsetzung des Ausgangsdatensatzes 2 in den Steuerdatensatz 4, der Qualität der Regelung durch die Regeleinheit 10, dem tatsächlichen Verhalten der Bearbeitungsmaschine 3 und den Eigenschaften des Antriebs der Bearbeitungsmaschine 3.

Je nach Größe der Abweichungen des real gefertigten Werkstücks 11 von dem idealen Werkstück sind diese Abweichungen tolerierbar oder nicht. Wenn die Abweichungen nicht tolerierbar sind, sind Änderungen erforderlich. Die Änderungen des Steuerdatensatzes 4 können dabei durch Änderungen des Ausgangsdatensatzes 2, durch Änderungen bei der Umsetzung des Ausgangsdatensatzes 2 in den Steuerdatensatz 4, durch Änderungen bei der Regelung durch die Regeleinheit 10, durch eine Variation des tatsächlichen Verhaltens, insbesondere des Elastizitätsverhaltens E, der Bearbeitungsmaschine 3 und durch eine Anpassung der Eigenschaften des Antriebs der Bearbeitungsmaschine 3 erfolgen. Soweit Eigenschaften der Bearbeitungsmaschine 3 und/oder ihres Antriebs festgelegt werden, muss selbstverständlich aufgrund theoretischer Berechnungen

199903788 DE 01

7

und/oder experimenteller Versuche verifiziert werden, dass diese Eigenschaften tatsächlich gegeben sind.

Um eine Optimierung des real gefertigten Werkstücks 11 möglichst schnell zu erreichen, ist gemäß FIG 3 ein Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' vorgesehen. Der Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' arbeitet ein Computerprogrammprodukt 12 ab. Im Rahmen der Abarbeitung des Computerprogrammprodukts 12 werden dem Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' insbesondere der Ausgangsdatensatz 2, die Polynomfolge 6, die der Polynomfolge 6 zugeordneten Verfahrgeschwindigkeiten v, Verfahrbeschleunigungen a und Verfahrrucke r sowie Bahnkrümmungen und der Steuerdatensatz 4 übermittelt. Hierzu werden von dem Computerprogrammprodukt 12 Schnittstellen 13 realisiert, über die der Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' mit dem Rechner 1 kommuniziert.

Ferner simuliert bzw. modelliert der Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' im Rahmen der Abarbeitung des Computerprogrammprodukts 12 das Regelverhalten der Regeleinheit 10 und das tatsächliche Verhalten (einschließlich des Elastizitätsverhaltens E) und die Eigenschaften des Antriebs der Bearbeitungsmaschine 3. Er ermittelt also rechnerisch anhand eines Modells M einen Enddatensatz 15, der eine reale Bearbeitung des dreidimensionalen Werkstücks 11 beschreibt.

Das Modell M ist durch Über eine weitere Schnittstelle 14 - vorzugsweise interaktiv - an vorgebbare Modellparameter anpassbar. Insbesondere ist das Elastizitätsverhalten E der Bearbeitungsmaschine 3 änderbar. Über die weitere Schnittstelle 14 ist auch der Ausgangsdatensatz 2 interaktiv änderbar. Ferner ist über die die weitere Schnittstelle 14 auch mindestens eine Abmessung d des Bearbeitungswerkzeugs 7, z.B. der Durchmesser des Fräskopfs 7, interaktiv änderbar. Die weitere Schnittstelle 14 ist üblicherweise in Form einer Tastatur und/oder einer Maussteuerung realisiert.

199903788 DE 01

8

Das - statische und dynamische - Elastizitätsverhalten E der Bearbeitungsmaschine 3 kann z. B. in Form einer parametrisierten Differenzialgleichung berücksichtigt werden. Die Beschreibung der realen Eigenschaften der Bearbeitungsmaschine 3 erfolgt somit durch Maschinenparameter. Vorzugsweise sind auch die Maschinenparameter über die weitere Schnittstelle 14 interaktiv änderbar. Anstatt durch eine parametrisierte Differenzialgleichung kann das Elastizitätsverhalten E der Bearbeitungsmaschine 3 aber auch mittels eines Finite-Element-Modells (FEM) oder eines starren oder flexiblen Mehrkörpermodells (MKM, FMKM) bzw. -systems (MKS, FMKS) berücksichtigt werden.

Zur Visualisierung wird einer der Datensätze 2, 4, 6, 15 selektiert. Für den Fall der Selektion der Polynomfolge 6 kann dabei weiter unterschieden werden, ob diese mit den oder ohne die der Polynomfolge 6 zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten  $v$ , Verfahrensbeschleunigungen  $a$  und Verfahrdrucken  $r$  sowie den Bahnkrümmungen selektiert wird. Der selektierte Datensatz 2, 4, 6 bzw. 15 ist dabei interaktiv änderbar. Insbesondere ist es möglich, nur einen Teil des selektierten Datensatzes 2, 4, 6 bzw. 15 herauszugreifen.

Auch die Selektion erfolgt vorzugsweise interaktiv über die weitere Schnittstelle 14. Der selektierte Datensatz 2, 4, 6 bzw. 15 wird dann zur Ermittlung mindestens einer zweidimensionalen Projektion verwendet. Hierzu wird anhand des selektierten Datensatzes 2, 4, 6 bzw. 15 eine Vielzahl von Stützstellen ermittelt, die in ihrer Gesamtheit das virtuelle dreidimensionale Werkstück beschreiben.

Die Gesamtheit der Stützstellen bildet einen Darstellungsdatensatz 16. Das Format der Daten des Darstellungsdatensatzes 16 ist unabhängig vom selektierten Datensatz 2, 4, 6 bzw. 15. Der Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' ermittelt anhand der Stützstellen die mindestens eine zweidimensionale Projektion des virtuellen Werkstücks 11. Diese Projektion

wird von dem Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' über eine Anzeigeeinrichtung 17, typisch einen Monitor 17 oder ein TFT-Display 17, dargestellt.

- 5 Die Darstellung des selektierten Datensatzes 2, 4, 6 bzw. 15 besteht aus Polyedern. Wenn der selektierte Datensatz 2, 4, 6 bzw. 15 nur Positionsangaben umfasst, können zur Visualisierung selbstverständlich auch nur die Positionsangaben herangezogen werden. Wenn hingegen der selektierte Datensatz 2, 4, 10 6 bzw. 15 auch Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- Ruck- und Krümmungsangaben umfasst, können zur Visualisierung auch diese verwendet werden. Beispielsweise können unterschiedliche Geschwindigkeiten  $v$ , Beschleunigungen  $a$ , Rucke  $r$  bzw. Krümmungen durch verschiedene Farbwerte dargestellt werden. Ggf. 15 können zwischen benachbarten Stützstellen auch Farbübergänge bzw. -abstufungen vorgenommen werden.

- Die zweidimensionalen Projektionen des selektierten Datensatzes 2, 4, 6 bzw. 15 sind, wie allgemein üblich und bekannt, 20 interaktiv änderbar. Insbesondere ist die Darstellung drehbar, so dass sich der Blickwinkel, aus dem es betrachtet wird, ändert. Ferner ist es zoombar, so dass sich also der Abbildungsmaßstab ändert. Ferner ist eine Beleuchtungskonfiguration interaktiv vorgebbar.

- 25 Um den Einfluss einzelner Funktionsblöcke 5, 8, 9 isoliert beurteilen zu können, sind ferner die Funktionsblöcke 5, 8, 9 einzeln interaktiv ausblendbar. Das Ausblenden eines der Funktionsblöcke 5, 8 bzw. 9 hat zur Folge, dass der ausgeblendete Funktionsblock 5, 8 bzw. 9 bei der Ermittlung des 30 Steuerdatensatzes 4 übersprungen wird.

- Wird beispielsweise der Kompressor 5 ausgeblendet, so entfällt das Ermitteln der Polynomfolge 6. In diesem Fall werden 35 die Verfahrensgeschwindigkeiten  $v$  usw. dem Teileprogramm 2 zugeordnet und - ein- oder zweistufig - die miteinander zu koordinierende Bewegungen einzelner Verfahrensmöglichkeiten des Be-

199903788 DE 01

10

arbeitswerkzeugs 7 anhand des Teileprogramms 2 und den diesem zugeordneten Zusatzangaben v, a, r ermittelt. Der Steuerdatensatz 4 entspricht in diesem Fall nach wie vor den miteinander zu koordinierenden Bewegungen. Das Teileprogramm 5 2 nebst den ihm zugeordneten Zusatzangaben v, a, r ist in diesem Fall selbstverständlich als darzustellender Datensatz selektierbar.

Mittels des erfindungsgemäßen Simulationsverfahrens ist es 10 auf einfache und kostengünstige Weise möglich, schnelle optimierte Steuerdatensätze 4 für Bearbeitungsmaschinen 3 aller Art zu erstellen.

09.11.00 15:17 \*GR ZD R SIEMENS ERL

199903768 DE 01

11

## Patentansprüche

1. Simulationsverfahren für einen eine dreidimensionale Bearbeitung durch eine CNC-gesteuerte Bearbeitungsmaschine (3),  
5 insbesondere eine Fräsmaschine (3), beschreibenden Datensatz (2,4,6,15),  
- wobei eine Sollbearbeitung durch einen idealisierte Bearbeitungsanweisungen für die Bearbeitungsmaschine (3) beschreibenden Ausgangsdatsatz (2) bestimmt ist,  
10 - wobei aus dem Ausgangsdatsatz (2) von einer Recheneinheit (1) ein Steuerdatsatz (4) für eine die Bearbeitungsmaschine (3) regelnde Regeleinheit (10) ermittelbar ist,  
- wobei aus dem Ausgangsdatsatz (2) und/oder dem Steuerdatsatz (4) mindestens eine zweidimensionale Projektion der  
15 Bearbeitung ermittelbar und über eine Anzeigeeinrichtung (17) darstellbar ist.
2. Simulationsverfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass von der Recheneinheit  
20 (1) aus dem Ausgangsdatsatz (2) mindestens ein Zwischendatsatz (6) und aus dem Zwischendatsatz (6) dann der Steuerdatsatz (4) ermittelbar ist und dass auch aus dem Zwischendatsatz (6) mindestens eine zweidimensionale Projektion der Bearbeitung ermittelbar und über die Anzeigeeinrichtung  
25 (17) darstellbar ist.
3. Simulationsverfahren nach Anspruch 2, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t ,  
- dass der Ausgangsdatsatz (2) ein Teileprogramm (2) ist,  
30 - dass dem Teileprogramm (2) Verfahrensgeschwindigkeiten (v),  
Verfahrbeschleunigungen (a) sowie Bahnkrümmungen zuordenbar sind,  
- dass anhand des Teileprogramms (2) und den diesem zuordenbaren Verfahrensgeschwindigkeiten (v), Verfahrbeschleunigungen  
35 (a) sowie Bahnkrümmungen - ggf. zweistufig - miteinander zu koordinierende Bewegungen einzelner Verfahrensmöglichkeiten des Bearbeitungswerkzeugs (7) ermittelbar sind, wobei die



miteinander zu koordinierenden Bewegungen den Steuerdatensatz (4) bilden, und

- dass der Zwischendatensatz dem Teileprogramm (2) mit den ihm zugeordneten Verfahrgeschwindigkeiten (v), Verfahrbeschleunigungen (a) sowie Bahnkrümmungen entspricht.

4. Simulationsverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,

- dass der Ausgangssatzenzatz (2) ein Teileprogramm (2) ist,
- 10 - dass das Teileprogramm (2) in eine Polynomfolge (6) umsetzbar ist,
- dass der Polynomfolge (6) Verfahrgeschwindigkeiten (v), Verfahrbeschleunigungen (a) sowie Bahnkrümmungen zuordenbar sind,
- 15 - dass anhand der Polynomfolge (6) und den dieser zuordenbaren Verfahrgeschwindigkeiten (v), Verfahrbeschleunigungen (a) sowie Bahnkrümmungen - ggf. zweistufig - miteinander zu koordinierende Bewegungen einzelner Verfahrmöglichkeiten des Bearbeitungswerkzeugs (7) ermittelbar sind, wobei die
- 20 miteinander zu koordinierenden Bewegungen den Steuerdatensatz (4) bilden, und
- dass der Zwischendatensatz (6) der Polynomfolge (6) mit den oder ohne die der Polynomfolge (6) zugeordneten Verfahrgeschwindigkeiten (v), Verfahrbeschleunigungen (a) sowie
- 25 Bahnkrümmungen entspricht.

5. Simulationsverfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass anhand
- eines ein reales Verhalten der Bearbeitungsmaschine (3) beschreibenden Modells (M) aus dem Steuerdatensatz (4) rechnerisch ein die tatsächliche Bearbeitung beschreibender Enddatensatz (15) ermittelbar ist und dass auch aus dem Enddatensatz (15) mindestens eine zweidimensionale Projektion der tatsächlichen Bearbeitung ermittelbar und über die Anzeigeeinrichtung (17) darstellbar ist.

199903788 DE 01

13

6. Simulationsverfahren nach Anspruch 5, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass die Beschreibung des re-  
alen Verhaltens der Bearbeitungsmaschine (3) durch Maschinen-  
parameter (E,d) erfolgt.

5

7. Simulationsverfahren nach Anspruch 6, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass die Maschinenparameter  
(E, d) zumindest teilweise interaktiv änderbar sind.

10 8. Simulationsverfahren nach Anspruch 5, 6 oder 7, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Maschi-  
nenparameter (E, d) mindestens eine Abmessung (d) eines Bear-  
beitungswerkzeugs (7) der Bearbeitungsmaschine (3) umfassen.

15 9. Simulationsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass - vor-  
zugsweise interaktiv - selektierbar ist, welcher der Daten-  
sätze (2,4,6,15) zur Ermittlung der mindestens einen zweidi-  
mensionalen Projektion und deren Darstellung über die Anzei-  
20 geeinrichtung (17) herangezogen wird.

10. Simulationsverfahren nach Anspruch 9, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass anhand des selektierten  
Datensatzes (2,4,6,15) eine Vielzahl von Stützstellen ermit-  
25 telt wird, die in ihrer Gesamtheit die Bearbeitung beschrei-  
ben.

11. Simulationsverfahren nach Anspruch 9 oder 10, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der selek-  
30 tierte Datensatz (2,4,6,15) interaktiv änderbar.

12. Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines Simulati-  
onsverfahrens nach einem der obigen Ansprüche.

35 13. Mit einem Computerprogrammprodukt nach Anspruch 12 pro-  
grammierter Simulations- und/oder Emulations-Rechner.

## Simulationsverfahren

5 Durch einen idealisierte Bearbeitungsanweisungen für eine Be-  
 arbeitungsmaschine (3) beschreibenden Ausgangsdatensatz (2)  
 ist eine dreidimensionale (Soll-)Bearbeitung durch eine CNC-  
 gesteuerte Bearbeitungsmaschine (3) bestimmt. Aus dem Aus-  
 gangssatz (2) ist von einer Recheneinheit (1) ein Steuer-  
 10 erdatensatz (4) für eine die Bearbeitungsmaschine (3) regelnde  
 Regeleinheit (10) ermittelbar. Aus dem Ausgangsdatensatz  
 (2) und/oder dem Steuerdatensatz (4) ist mindestens eine  
 zweidimensionale Projektion der Bearbeitung ermittelbar und  
 über eine Anzeigeeinrichtung (17) darstellbar.

FIG 3